

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

DÉBORA JÉSSICA XAVIER GOUVEA

ESTIMATIVAS HIPSOMÉTRICAS EM POVOAMENTO DE *EUCALYPTUS*  
ATRAVÉS DE VEÍCULOS ÁERIOS NÃO TRIPULADOS.

CURITIBA

2020

DÉBORA JÉSSICA XAVIER GOUVEA

ESTIMATIVAS HIPSOMÉTRICAS EM POVOAMENTO DE *EUCALYPTUS*  
ATRAVÉS DE VEÍCULOS ÁERIOS NÃO TRIPULADOS.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de MBA em Manejo Florestal de Precisão,  
do Programa de Educação Continuada em  
Ciências Agrárias, da Universidade Federal do  
Paraná, como pré-requisito para obtenção de  
título de especialista.

Orientador: Prof. Me. Hudson Franklin Pessoa  
Veras

CURITIBA

2020

## ESTIMATIVAS HIPSOMÉTRICAS EM POVOAMENTO DE *EUCALYPTUS* ATRAVÉS DE VEÍCULOS ÁERIOS NÃO TRIPULADOS.

<sup>1</sup>Bacharel em Engenharia Florestal, Especialista, Universidade Federal do Paraná, Rua Job Feliciano Alves, nº 186, Centro, Paineiras – Cep: 35.622-000, deboraxavierflorestal@gmail.com.

### RESUMO

As imagens de levantamentos fotográficos com veículos aéreos não tripulados (VANT's) vem se destacando como grandes aliados no manejo florestal de precisão, apresentando várias aplicações na área florestal, nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de imagens coletadas com VANT para estimar alturas de um talhão florestal de *Eucalyptus*. O desenvolvimento dessa pesquisa foi realizado em um talhão florestal, localizado no município de Paineiras – MG. Para obtenção dos dados foi utilizado um VANT Phantom 4 Pro, equipado com câmera RGB de 20 Mpixels. Com o processamento das imagens obteve-se como produto o ortomosaico, modelo digital do terreno e modelo digital de superfície, através da subtração desses dois últimos foi gerado o modelo de altura de copa e dele foi obtido as alturas das árvores do talhão florestal. Para a comparação dos resultados foi realizado a mensuração, no talhão, da altura de 40 árvores. As estimativas geradas a partir do processamento das imagens, apresentaram após análise pelo teste qui quadrado valor calculado inferior ao tabelado. No teste de aderência dos dados as alturas estimadas com VANT apresentaram valores de raiz quadrada do erro quadrático médio inferior a 10%. Os resultados permitiram inferir que é possível estimar alturas em plantio de *Eucalyptus*, com o uso de imagens de VANT.

Palavras-Chaves: Altura de Árvores. Manejo Florestal. VANT.

## **ABSTRACT**

The images of photographic surveys with unmanned aerial vehicles (UAVs) have stood out as great allies in precision forest management, presenting several applications in the forestry area. In this sense, the objective of this study was to evaluate the performance of images collected with UAVs to estimate heights of an Eucalyptus forest stand. The development of this research was carried out in a forest plot, located in the municipality of Paineiras - MG. To obtain the data, a UAV Phantom 4 Pro was used, equipped with a 20 Mpixels RGB camera. With the processing of the images, the orthomosaic product, the digital terrain model and the digital surface model were obtained as a product, by subtracting these last two, the crown height model was generated and the heights of the trees in the forest stand were obtained. To compare the results, the height of 40 trees was measured in the stand. The estimates generated from the image processing, presented after analysis by the chi square test calculated value lower than the table. In the data adherence test, the heights estimated with UAV showed square root values of the mean square error less than 10%. The results allowed to infer that it is possible to estimate heights in Eucalyptus plantations, using UAV images.

**Keywords:** Height of Trees. Forest Management. UAV.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	6
2. OBJETIVO .....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	11
5. CONCLUSÕES .....	17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo florestal de precisão é uma ferramenta de grande importância onde possibilita realizar planejamentos mais acurados maximizando a produção de madeira. As empresas e produtores florestais estão em busca de tecnologias que possam diminuir os custos de condução da produção permitindo aumentar o lucro líquido dos projetos. Essa tecnologia combinada com os estudos de crescimento das florestas tem papel fundamental para aumentarem a qualidade e produção dos povoamentos florestais.

As informações básicas para o manejo florestal são obtidas através do inventário florestal, nessa etapa as principais variáveis mensuradas em campo são o diâmetro e a altura das árvores. No entanto a mensuração das alturas em inventários florestais é uma atividade onerosa, demandando um maior tempo na coleta de dados e aumentando o custo do inventário, sendo assim a altura é comumente aferida em amostra de seus indivíduos e os demais são descritos por meio de estimativas hipsométricas (BATISTA et al., 2014). Como aliado ao manejo florestal de precisão são utilizadas as imagens de levantamentos fotográficos a partir de veículos aéreos não tripulados (VANT's), sendo estas ferramentas úteis e eficazes na mensuração florestal (SANTOS et al., 2017).

Os métodos tradicionais de coleta de imagens do sensoriamento remoto possuem um elevado custo enquanto as imagens obtidas através VANT são de baixo custo e rápida obtenção (SILVIA et al., 2018). Segundo Lisein et al. (2013), as imagens obtidas através desses veículos são fontes de dados viáveis para auxiliarem nas práticas florestais. Essas aeronaves tem como vantagem a resolução temporal, pois permite o mapeamento com maior frequência ao longo do tempo, podem ainda voar em baixas altitudes, proporcionando uma melhor resolução espacial de imagens (JAAKKOLA et al., 2010; KOH; WICH, 2012; WHITEHEAD; HUGENHOLTZ, 2014).

Existem alguns estudos e resultados promissores a partir de processamento de imagens de VANT, na área de silvicultura se destacam os inventários de sobrevivência, onde é realizada a contagem das mudas a partir das imagens aéreas (RUZA et al., 2017).

O emprego de imagens aéreas feitas por VANT's apresenta grande potencial para o levantamento de informações precisas e rápidas estimativas dendrométricas, auxiliando na tomada de decisões dos gestores florestais podendo contribuir para o fornecimento de noções volumétricas de povoamentos florestais (NUNES et al., 2014). Giongo et al. (2018) estudaram a detecção automática de indivíduos arbóreos, técnica eficaz para os inventários de sobrevivência, permitindo obter variáveis como altura e diâmetro. Lima et al. (2019) conseguiram aplicar técnicas rápidas e precisas para estimar as falhas, área foliar e altura de povoamentos de eucalipto. Segundo Oliveira Sobrinho et al. (2018) o uso de VANT é capaz de realizar a avaliação quantitativa e avaliação geográfica em plantios de *Eucalyptus* sp., o que torna a tomada de decisão mais precisa e eficaz.

Com o uso do VANT no inventário florestal pode-se obter resultados com um custo menor se comparado aos métodos tradicionais. É possível realizar levantamentos de áreas grandes em um curto espaço de tempo e com pouquíssima mão de obra envolvida.. Devido ao alto custo para mensuração, a altura em inventários florestais é comumente aferida em parte dos indivíduos, ao passo que ao se trabalhar com as imagens de VANT seria possível realizar até a estimativa de qualquer indivíduo do povoamento.

## **2. OBJETIVO**

Analisar o desempenho do uso de imagens coletadas com VANT para estimativas de alturas de um talhão florestal de *Eucalyptus* localizado no município de Paineiras – MG.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se no município de Paineiras – MG. De acordo com o sistema de classificação climática de Köppen, o município se caracteriza como tipo climático *Aw*, tropical com estação seca de inverno (KOPPEN, 1948), com temperatura média de 23° e pluviosidade média anual de 1.327 mm.

A área de estudo constitui em único talhão de plantio de *Eucalyptus* sp. pertencente a um produtor rural do município. O talhão possui área de 9,80 ha, espaçamento aproximado de 3,50 x 2,00 m, com densidade de aproximadamente 1.420 mudas por hectare, a idade de plantio é de 8 anos.

#### LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE PAINEIRAS, MG.

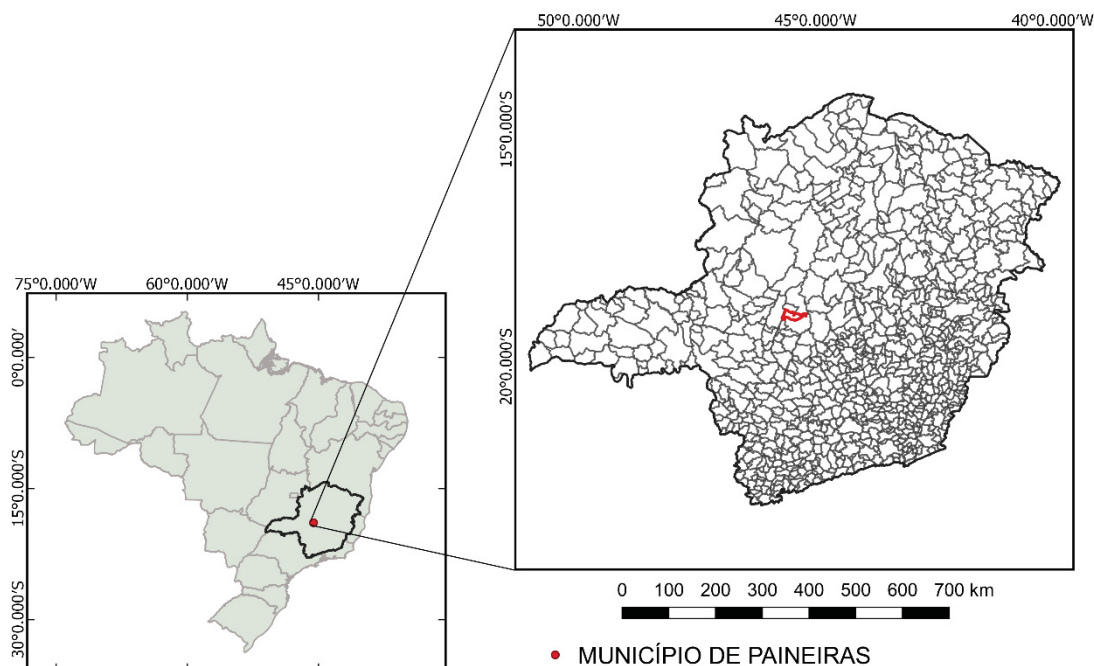


FIGURA1: Localização da área de estudo.

FONTE: A Autora (2020).

As fotografias aéreas foram obtidas no dia 01 de novembro de 2019 por volta das 11:00 h utilizando-se um VANT Phantom 4 Pro V2.0 equipado com câmera com sensor CMOS RGB e resolução de 20 megapixel.



Para o planejamento do voo aerofotogramétrico, foi utilizado o software DroneDeploy versão 4.2. A altitude média da área é de 608 m. Usou-se as seguintes configurações para o voo: câmera ajustada a 90°, sobreposição lateral de 80% e longitudinal 85%, altura do voo a 120 m e intervalo de foto de 4 segundos, sendo estas configuradas de acordo com a topografia local e condições da floresta. Foram tomadas um total de 545 fotografias aéreas para recobrimento do talhão de estudo.

O processamento das fotos obtidas pelo VANT foi realizado com o software Pix4d Mapper Pro, no qual foi realizado o alinhamento das fotos, a nuvem de pontos, o modelo digital de superfície, o modelo digital do terreno e ortomosaico para a identificação das copas das árvores.

Foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica QGIS 3.10 para extrair as diferenças de altitude de copa das árvores e da superfície do terreno através da ferramenta *Calculadora Raster*, obtendo-se o modelo de altura de copa (CHM) e através dele foi gerado valores de altura para cada pixel. As árvores foram identificadas através de sua coordenada geográfica coletada em campo e em seguida extraído o valor do seu pixel o que equivale a sua altura.

Foi preciso realizar um novo modelo digital do terreno (DTM), pois o gerado a partir das imagens não conseguiu identificar corretamente a topografia do terreno dentro do plantio por se tratar de uma floresta adensada, sendo possível aferir valores corretos de altitudes apenas nas bordas do talhão, já que a topografia da área é plana. Dessa forma foi realizado uma interpolação das bordas para o meio do talhão, onde foram coletadas altitudes das bordas e seguindo o princípio de topografia local foi criado pontos no meio do talhão com valores aproximados aos da borda, do menor para o maior gerando, através da ferramenta de interpolação IDW do QGIS 3.10, um novo DTM corrigido.

Para comparação dos resultados foi realizado um levantamento em campo coletando as alturas de 40 árvores. Em cada árvore mediu-se: a circunferência a 1,30 m do solo (CAP) com o uso de fita métrica, a altura total através do uso do clinômetro digital modelo Haglof® e a coordenada métrica com GPS Garmim Etrex 10.

Os resultados observados em campo com os estimados obtidos através das imagens do VANT foram submetidos ao teste qui-quadrado para verificar a eficiência das duas metodologias de mensuração, a um nível de significância de 5% de probabilidade de erro, as hipóteses foram:

H0: Não houve diferença significativa na estimativa da altura por meio de imagens por VANT e a altura com o uso do clinômetro digital modelo Haglof®.

H1: Houve diferença significativa na estimativa da altura por meio de imagens por VANT e a altura com o uso do clinômetro digital modelo Haglof®.

A acurácia dos resultados foi avaliada por meio da Raiz do erro quadrático médio (RMSE) absoluta e relativa (Eq. 1 e Eq. 2), conforme utilizado no trabalho de Lima et al. (2019), utilizando as alturas das 40 árvores medidas em campo.

$$RMSE (m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_o)^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE (\%) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_o)^2}{n}}}{mean(y)} * 100 \quad (2)$$

Onde:

RMSE = Raiz do erro quadrático médio

$Y_i$  = valor de referência

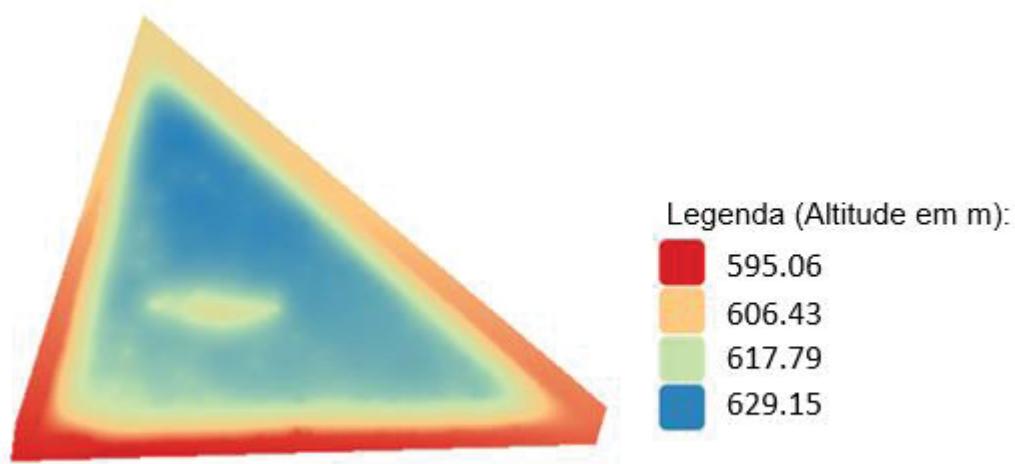
$Y_o$  = valor estimado

n = número de amostras

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O DTM real variou de 595 a 629 m de altitude, como pode ser observado na figura 2 A, o DTM corrigido variou de 595 a 617 m de altitude, como foi apresentado na figura 2 B, e o DSM variou de 594 a 639 m de altitude na área do plantio de eucalipto como pode ser observado na Figura 3. O DTM corrigido é representado pela interpolação das altitudes das bordas do terreno e o DSM corresponde a altitude da superfície das copas das árvores.

A) DTM real.



B) DTM corrigido.

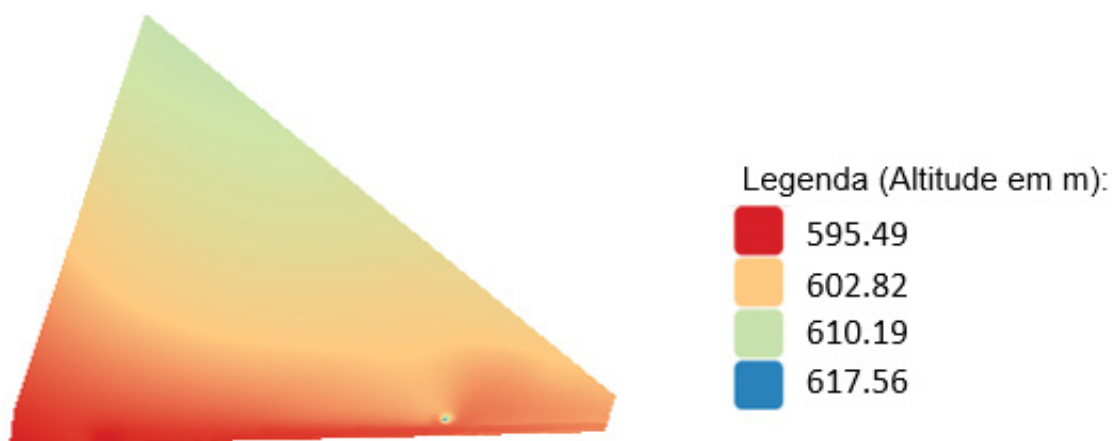


FIGURA 2: Mapas gerados para DTM, A) DTM real e B) DTM corrigido.

FONTE: A Autora (2020).

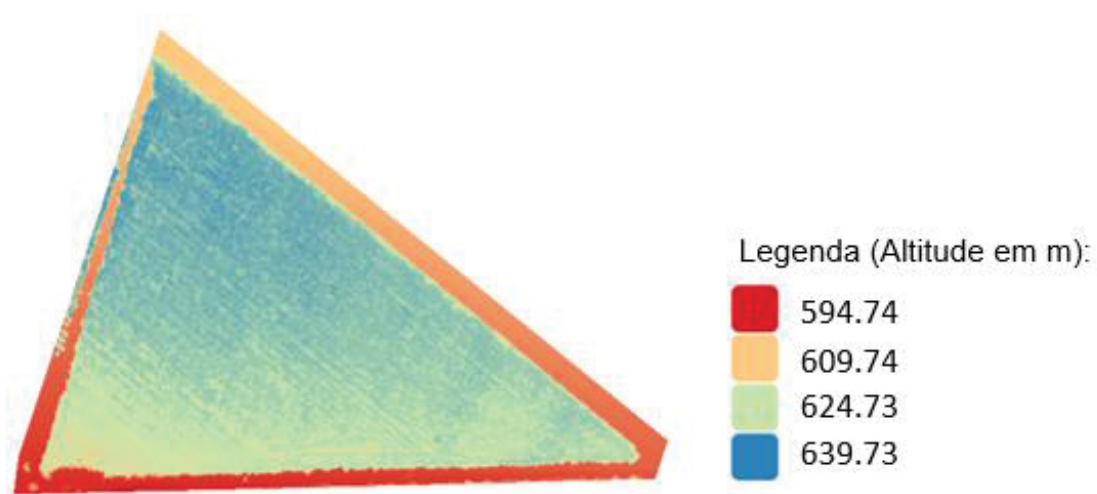


FIGURA 3: Mapas gerados no processamento das imagens, Modelo digital de superfície (DSM).

FONTE: A Autora (2020).

A distribuição das árvores ao longo do povoamento é observada na Figura 4, o ortomosaico, nota-se que se trata de um plantio bem adensado.

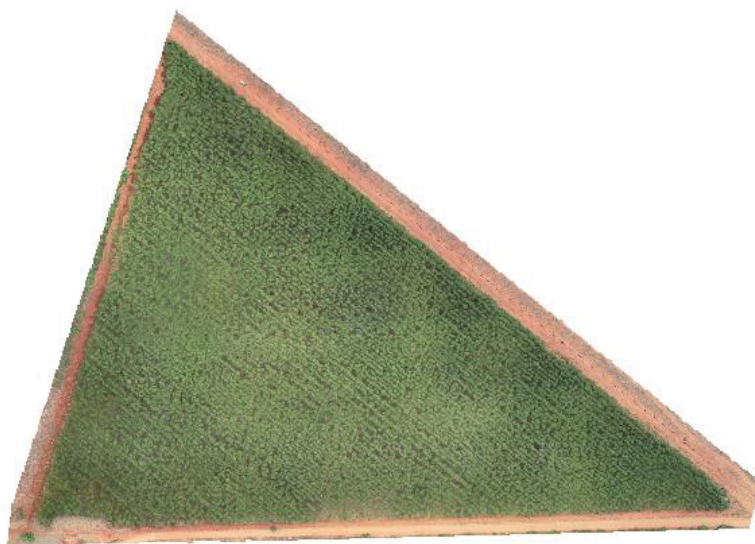


FIGURA 4: Ortomosaico gerado para o talhão do estudo.

FONTE: A Autora (2020).

A Figura 5 mostra o mapa do modelo de altura de copa (CHM), gerado do processo de subtração DSM e DTM. O CHM variou entre 2,53 e 32,45 m de altura, esses valores foram encontrados através dos valores pixel das árvores testemunhas localizadas no mapa do modelo de altura de copa através de sua coordenada geográfica. A média das alturas aferidas em campo foi 27,39 e pela imagem do VANT foi 27,69 sendo 0,30 m maior com a mensuração do VANT, portanto o modelo de altura de copa obtido através da extração do DSM e DTM apresenta uma leve tendência de superestimar as alturas das árvores.

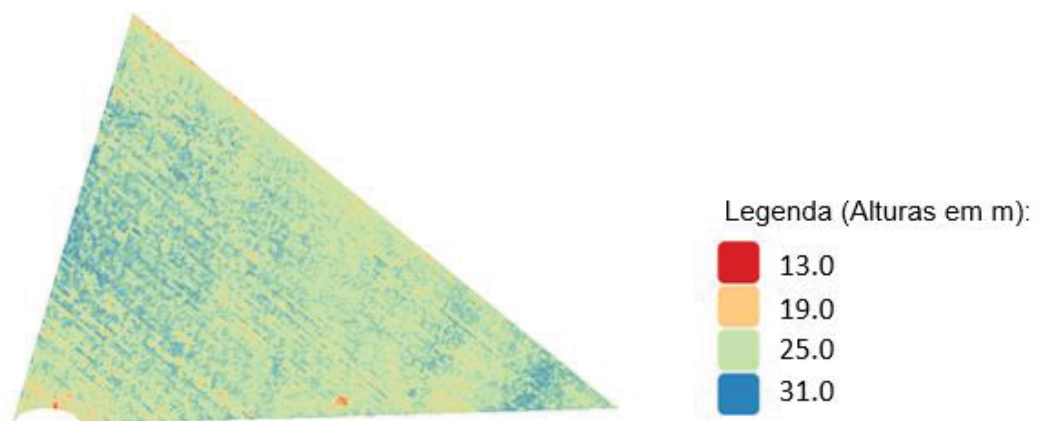


FIGURA 5: Modelo de altura de copa (CHM).

FONTE: A Autora (2020).

Na Figura 6 pode-se analisar o gráfico da dispersão das alturas estimadas versos a altura real encontrada com o clinômetro onde se observa que a amplitude de alturas do clinômetro é um pouco maior que a do VANT.

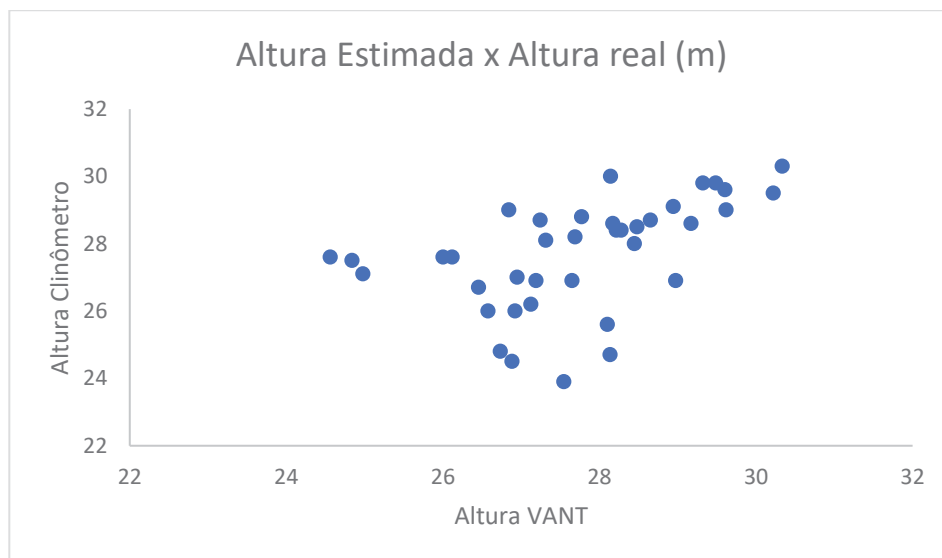


FIGURA 6: Altura estimada x Altura real.

FONTE: A Autora (2020).

A Tabela 1 apresenta as alturas reais encontradas com o clinômetro, as alturas estimadas e o erro absoluto e relativo. A altura real mínima encontrada foi de 21,10 m, enquanto a estimada foi de 24,56 m; a altura real máxima foi de 30,30 m, enquanto a estimada foi de 30,33 m. A média das alturas reais foi de 27,40 m enquanto as estimadas pelo VANT foram de 27,70 m. Observa-se que os maiores erros na estimativa ocorrem para árvores mais baixas, apresentando uma tendência de superestimar a altura. De acordo com a amostra a altura estimada apresentou distorção dos resíduos em relação a altura real em 2,5 %, sendo que para 19 indivíduos a relação altura real x altura estimada foi menor, equivalente a 47,50%, e para 21 indivíduos foi maior 2,5%, correspondendo a 52,50%.

TABELA 1: Comparação das alturas reais e estimada.

Altura Real (m)	Altura Estimada (m)	ERRO (abs)	ERRO (%)
27,60	24,56	3,04	11,01
27,50	24,84	2,66	9,67
27,10	24,98	2,12	7,83
27,60	26,00	1,60	5,79
27,60	26,12	1,48	5,37
21,10	26,22	-5,12	-24,25

26,70	26,46	0,24	0,91
26,00	26,58	-0,58	-2,22
24,80	26,73	-1,93	-7,80
29,00	26,84	2,16	7,44
24,50	26,88	-2,38	-9,73
26,00	26,92	-0,92	-3,55
27,00	26,95	0,05	0,19
26,20	27,12	-0,92	-3,53
26,90	27,19	-0,29	-1,08
28,70	27,24	1,46	5,08
28,10	27,31	0,79	2,79
23,90	27,55	-3,65	-15,25
21,70	27,64	-5,94	-27,38
26,90	27,65	-0,75	-2,79
28,20	27,69	0,51	1,81
28,80	27,77	1,03	3,57
25,60	28,10	-2,50	-9,77
24,70	28,14	-3,44	-13,91
30,00	28,14	1,86	6,19
28,60	28,17	0,43	1,50
28,40	28,22	0,18	0,65
28,40	28,28	0,12	0,43
28,00	28,45	-0,45	-1,60
28,50	28,48	0,02	0,07
28,70	28,65	0,05	0,17
29,10	28,94	0,16	0,54
26,90	28,98	-2,08	-7,71
28,60	29,17	-0,57	-2,00
29,80	29,32	0,48	1,61
29,80	29,48	0,32	1,06
29,60	29,60	0,00	-0,01
29,00	29,62	-0,62	-2,13
29,50	30,22	-0,72	-2,44
30,30	30,34	-0,04	-0,12

FONTE: A Autora (2020).

O teste do qui-quadrado apresentou valor de  $X^2$  calculado de 2,8489 sendo esse resultado menor que o valor tabelado, 25,695 para a situação em questão. Sendo assim, foi aceita a hipótese de que as alturas estimadas por VANT e as alturas mensuradas com o clinômetro não diferiram entre si a 5% de probabilidade de erro.

A Raiz do erro quadrático médio (RMSE) foi de 1,93 m, o equivalente a 7,05% do erro médio em relação as médias observadas das árvores coletadas em campo. O resultado encontrado está inferior ao de Lima et al (2019) e Silva et al (2017) afirmaram que valores abaixo ou igual a 10% de RMSE é eficiente. É importante ressaltar que a mensuração da altura com o uso do aparelho clinômetro também pode estar associada a alguns tipos de erros de medições.

O gráfico das alturas estimadas com o VANT em função dos resíduos é apresentado na Figura 7. Nele observa-se que as alturas estimadas se comportaram de forma equilibrada e com uma leve tendência de superestimar os valores de altura para as árvores do povoamento em estudo.

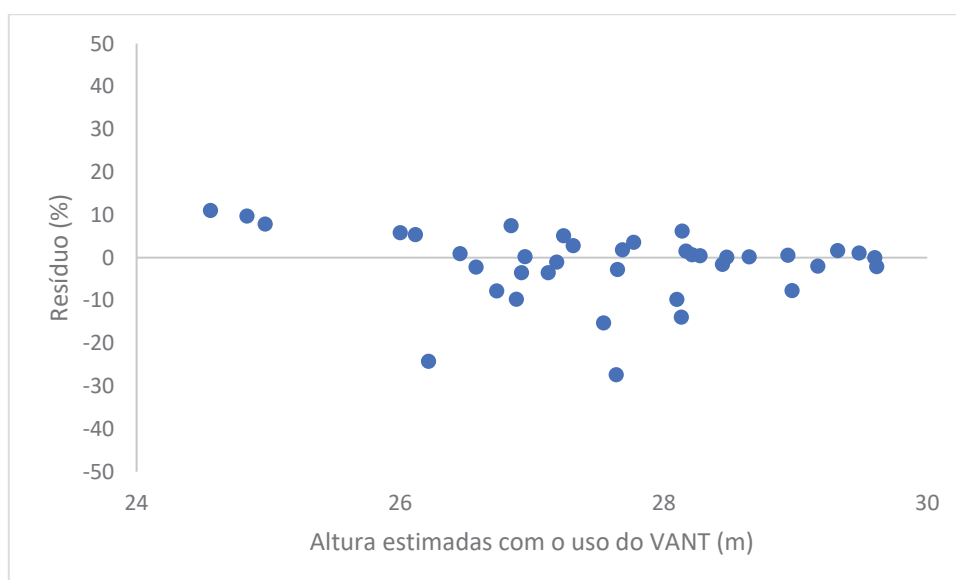


FIGURA 7: Gráfico da dispersão dos resíduos em função da altura estimada pelo VANT.

FONTE: A Autora (2020).



## **5. CONCLUSÕES**

Os resultados obtidos através do VANT foram satisfatórios para estimar a altura em um talhão florestal de Eucalyptus localizado no município de Paineiras – MG para as condições da área de estudo.

## **RECOMENDAÇÕES**

Os resultados deste trabalho evidenciam que ainda existem aspectos a melhorar a utilização do VANT na mensuração florestal sendo necessário pesquisas tendo em vista a atualização da tecnologia, visando um melhor desempenho para os processamentos do modelo digital do terreno em áreas com plantios adensados e a comparação dos resultados com um método de cubagem rigorosa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de Recursos Florestais - Árvores, Arvoredos e Florestas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

CHAVES, A. A.; LA SCALEA, R. A.; COLTURATO, A. B.; KAWABATA, C. L. O.; FURTADO, E. L.; BRANCO, K. R. L. J. C. Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação. **Anais XVII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, – SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, p. 5642-5649, 2015.

GIONGO, M.; KOEHLER, H.S.; MACHADO, S.A.; KIRCHNER, F.F.; MARCHETTI, M. LIDAR: princípios e aplicações florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 63, p. 231-244, ago-out, 2010.

JAAKKOLA, A.; HYYPPÄ, J; KUKKO, A.; YU, X.; KAARTINEN, H.; LEHTOMÄKI, M.; LIN, Y. A low-cost multi-sensoral mobile mapping system and its feasibility for tree measurements. **ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing**,

KOH, L.P.; WICH, S.A. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. **Tropical Conservation Science**, v. 5, n. 2, p. 121-132, 2012.

KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. México: **Fondo de Cultura Económica**, 1948. 478 p.

LIMA, R. J.; ARAUJO, A. R.; LEITE, E. S.; MAGALHÃES, J. R. G. Uso de imagens de Veículos aéreos não tripulados no inventário de um povoamento de eucalipto. In: IV Congresso Brasileiro de Eucalipto, 5, 2019, Salvador. Anais do IV Congresso Brasileiro de Eucalipto, p. 1-4, 2019.

LISEIN, J; PIERROT-DESEILLIGNY, M; BONNET, S; LEJEUNE P.A photogrammetric workflow for the creation of a forest canopy height model from small unmanned aerial system imagery **Forests**, 4, pp. 922-944, 2013.

NUNES, G. M.; VIEIRA, D. J. E.; CARVALHO, S. P.C. Avaliação preliminar de dados obtidos por vant em talhão florestal clonal de *Eucalyptus urograndis* H13 no estado do Mato Grosso. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 6, 2014, Curitiba, p. 1-8, 2014.

OLIVEIRA SOBRINHO, F. M.; CORTE, A. P. D.; VASCONCELLOS, B. N.; SANQUETTA, C. R.; REX, F. E. Uso de veículos aéreos não tripulados (vant) para mensuração de processos florestais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.15, p. 117 – 129, 2018.

RUZA, M.R.; DALLA CORTE; A.P.; HENTZ, A.M.K.; SANQUETTA, C.R.; SILVA, C.A.; SCHOENINGER, E.R. Inventário de Sobrevivência de povoamento de Eucalyptus com uso de Redes Neurais Artificiais em Fotografias obtidas por VANTs. **Advances in Forestry Science**, V.4, N.1, p. 83-88, 2017.

SANTOS, M. M.; MACHADO, I. E. S.; CARVALHO, E. V.; VIOLA, M. R.; GIONGO, M. Estimativa de parâmetros florestais em área de cerrado a partir de imagens do sensorOLI Landsat 8. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 75-83, jan. / mar. 2017.

SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; MENDONÇA, B. A. F. de. E.; CARVALHO, S. P. C. S. E. Efeito da densidade de pontos LiDAR na predição da altura em plantações de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 115, p. 481-492, set. 2017.

SILVA, N. B.; CORTE, A. P. D.; PIVA, L. R. O.; HENTZ, A. M. K.; SANQUETTA, C. R. Desempenho de algoritmos para contagem automática de árvores jovens e adulta a partir de dados vant. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.15, p. 364 – 375, 2018.

WHITEHEAD, K., HUGENHOLTZ, C. H., MYSHAK, S., BROWN, O., Leclair, A., TAMMINGA, A., EATON, B. Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 2: scientific and commercial applications. **Journal of unmanned vehicle systems**, v. 2, n. 3, p. 86-102, 2014. doi:10.1139/juvs-2014-0006.